

**Цезий-137 в пойменных почвах острова Татышев в г. Красноярске**Митев А.Р.<sup>1</sup>, Шарафутдинов Р.А.<sup>1</sup>, Чечеткин В.А.<sup>2</sup><sup>1</sup> Сибирский Федеральный Университет<sup>2</sup> Лаборатория радиационного контроля ООО «ГЕОЛА»**Cesium-137 in floodplain soils of the Tatishev island in Krasnoyarsk**Mitev A.R.<sup>1</sup>, Sharafutdinov R.A.<sup>1</sup>, Chechetkin V.A.<sup>2</sup><sup>1</sup> Siberian Federal University<sup>2</sup> Laboratory of Radiation Control «Geola» Ltd

При современном экологическом мониторинге территорий, подвергшихся техногенному воздействию, одной из важнейших составляющих объективной оценки уровней радиоактивного загрязнения является сравнение их со значениями параметров среды на незатронутых, или незначительно подвергшихся воздействию природных объектах, приобретающих статус «фоновых». При оценке воздействия предприятий ядерно-топливного цикла, расположенных на берегах рек, на пойменные системы, фоновыми объектами могут выступать пойменные образования, расположенные выше по течению и на достаточном удалении от источника загрязнения.

Таким «фоновым» объектом по отношению к «осколочному» <sup>137</sup>Cs могут являться почвы острова Татышев. Поэтому основная цель радиационного обследования острова заключалась в изучении характера накопления пойменными отложениями реки Енисей <sup>137</sup>Cs, обусловленного глобальными выпадениями.

В рамках работы изучались физические и физико-химические свойства почв и грунтов, стратиграфическое строение слагающих остров отложений до глубины 2,7 м (глубина залегания руслового аллювия), а также особенности вертикальной миграции почвенных растворов. Указанные параметры рассматривались в силу того, что они способны оказывать значительное влияние на закономерности распределения <sup>137</sup>Cs.

Возраст отложений, формирующих остров Татышев, вписывается в голоценовый период. Это хорошо согласуется со стратиграфией отложений, результатами радиоуглеродного датирования [1], а также археологическими находками – в отложениях о. Татышев присутствует как минимум один культурный горизонт, обнаруженный в 1933-1934 гг. В.Г. Карцевым и А.Ф. Катковым.

Высота острова достигает 3,5 метров над урезом р. Енисей. Наибольшие высотные отметки характерны для левой центральной части острова. В стратиграфическом сложении принимают участие галечники, пески, супеси. В толще аллювиальных отложений прослеживаются многочисленные прослои органического детрита, ожелезненные горизонты, а также в различной степени развитые погребенные почвы.

Современная поверхность острова (уровень высокой поймы) представляет собой выровненную местность, пересеченную системой ложбин, с пологими склонами, плавно переходящими к днищу. Последние представляют собой старые, в разной степени заросшие протоки, в западной части острова их глубина достигает 2,0 - 2,5 метров, а ширина возрастает с приближением к речному руслу. Дно, а часто и склоны ложбин покрыты ивняком. В период снеготаяния, в паводок или после продолжительных дождей дно ложбин заполняется водой. В восточной части острова ложбины имеют меньшие размеры, часто перекрыты дорожными насыпями. На значительном протяжении береговой зоны острова представлены пологие песчаные и галечниковые пляжи, лишь на отдельных участках берег обрывается крутым уступом. На таких участках в половодье река интенсивно подрезает берег, но в связи с распространением рыхлых отложений, не происходит формирования даже незначительных абразионных уступов, быстро развивается дерупций. Современный микрорельеф острова преимущественно определяет водный и тепловой режим почв, а вместе с этим интенсивность развития растительности и процессов почвообразования.

Важно отметить, что значительная часть острова за последние 30 лет подверглась глубокой техногенной трансформации. В период 1979-2009 гг., при строительстве инженерных объектов (мосты, водозабор) производилась выемка рыхлых пород при помощи экскаваторов, барж, плавкранов. На отдельных участках осуществлено перекрытие протоков отсыпными дамбами и пр.

Современное строение низкой поймы острова сложное – морфологически прослеживается 3 уровня, соответствующие уровенному режиму р. Енисей, находящемуся в зависимости от объемов сбросов Красноярской ГЭС. Наименьший из них отвечает уровню зимней межени, второй соответствует сбросам в районе 2900 м<sup>3</sup>/с, третий – свыше 3500 м<sup>3</sup>/с. При уровнях сброса свыше 6500 м<sup>3</sup>/с, значительная часть острова затапливается, аналогично ситуации 2006 года, когда сброс достигал 9000 м<sup>3</sup>/с, доходя в пиках до 10 500 м<sup>3</sup>/с. Гранулометрический состав аллювиальных отложений в пределах низкой поймы значительно варьирует, и представлен песками рыхлыми, связными, супесями, легкими и средними суглинками.

Поверхность высокой поймы сложена преимущественно песками связными (физический песок – 90%, физическая глина – 10%), реже супесями (физический песок – 89%, физическая глина – 11%); указанные отложения являются почвообразующими породами, и гранулометрический состав формирующихся на них почв в значительной степени унаследован (таблица 1).

Современный почвенный покров низкой поймы характеризуется доминированием почв аллювиальных слоистых (слаборазвитых), аллювиальных темногумусовых, реже аллювиальных болотных иловато-перегнойных. Последние приурочены к зарастающим протокам. В пределах высокой поймы представлены преимущественно аллювиальные темногумусовые и агротемногумусовые почвы. Для почв как низкой, так и высокой поймы, характерно невысокое содержание гумуса (до 3,1%), слабощелочная реакция водной вытяжки (рН 7,2-8,0).

Таблица 1 – Распределение гранулометрических фракций в горизонтах аллювиальных почв острова Татышев

| Индекс горизонта, (глубина), см | Фракция (мм) и ее содержание (%) |           |           |            |             |         |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|---------|
|                                 | 1-0,25                           | 0,25-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | 0,005-0,001 | < 0,001 |
| АУ (0-7)                        | 13                               | 63        | 14        | 4          | 2           | 4       |
| В (7-19)                        | 18                               | 48        | 24        | 5          | 2           | 4       |
| АУ (0-6)                        | 23                               | 62        | 11        | 1          | 2           | 1       |
| АУВ (6-20)                      | 29                               | 60        | 8         | 1          | 0           | 1       |
| С (34-56)                       | 12                               | 73        | 14        | 0          | 0           | 0       |

В связи с тем, что территория острова практически не охвачена радиационными исследованиями, но является местом массового отдыха горожан, в работе расширенно оценивались такие показатели, как мощность эквивалента амбиентной дозы на высоте 1 метр при помощи дозиметра-радиометра ДКС-96П, объемная активность (ОА) радона в почвенном воздухе (радиометр альфа-активных газов РГА-500), плотность потока радона из грунта (измерительный комплекс «Камера»). Пешеходная поисковая гамма-съёмка выполнена в масштабе 1:1000 с использованием радиометра СРП 68-01. В лабораторных условиях пробы почв и грунтов проанализированы на гамма-спектрометре МКГБ-01 «РАДЭК».

На момент обследования удельная активность <sup>137</sup>Cs в почвах и грунтах острова изменялась в пределах от 3,5 до 34,9 Бк/кг и составляла в среднем 15,6 Бк/кг. Эта величина, характеризующая интенсивность накопления <sup>137</sup>Cs пойменными отложениями, вполне объяснимо превышает средний показатель для почв лесостепных и подтаежных денудационно-аккумулятивных равнин и денудационно-эрозионных таежных низкогорий центральных и южных районов Красноярского края – 7 Бк/кг [2].

Основные участки накопления  $^{137}\text{Cs}$  находятся на низких элементах рельефа в прирусловой пойме и приурочены к горизонтам слабо развитых аллювиальных и темного гумусовых почв, характеризующихся повышенным содержанием фракции физической глины. Таким образом, самой загрязненной частью почвенного профиля является гумусово-аккумулятивный горизонт, а также погребенные органо-генные горизонты или слойки, залегающие на незначительной глубине от поверхности. Запас  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем слое отложений мощностью 15 см в пределах низкой поймы составляет около  $4,98 \text{ кБк/м}^2$ , изменяясь в диапазоне от 13,8 до 34,9 Бк/кг, при среднем значении  $23,7 \pm 2,4 \text{ Бк/кг}$ .

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и грунтах высокой поймы, рассчитанное по результатам измерений 34 проб [3], варьировало в пределах от 3,4 до 15,6 Бк/кг и составило в среднем  $7,6 \pm 1,2 \text{ Бк/кг}$ , при запасе в верхнем 15-сантиметровом слое –  $1,62 \text{ кБк/м}^2$ . Лишь для одной пробы, отобранной в ходе послойного детального изучения отложений, в интервале глубин 0,0-7,0 см на участке в центральной части острова, было получено значение 20,4 Бк/кг (таблица 2).

Определенный интерес представляет изучение интенсивности вертикальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  в толще аллювиальных отложений, сложенной песчаными и супесчаными разностями, которые обладают высокой водопроницаемостью. В связи с тем, что вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$  в почвах возможна, преимущественно, при движении почвенного раствора, в работе учитывались физические и физико-химические особенности грунтов, слагающих остров, от поверхности до глубины залегания руслового аллювия.

Естественная влажность образцов грунта измерялась влагомером Delta-T HH2, непосредственно после извлечения их буром Эйдельмана. Установлено, что ее максимальные значения характерны для осеннего периода (конец сентября – начало октября). Однако, даже в этот период существующий лимит атмосферных осадков в регионе ограничивает активное проникновение почвенных растворов на глубину свыше 85 см. Так, если в верхних почвенных горизонтах влажность составляла 18...27%, то на глубине 90 см не превышала 8...9%. С глубины 180...190 см влажность отложений возрастает, что связано с влиянием грунтовых вод.

Таблица 2 – Накопление естественных радионуклидов и  $^{137}\text{Cs}$  в аллювиальных отложениях острова Татышев в центральной части (фрагмент разреза)

| Глубина отбора, м | $^{226}\text{Ra}$ | $^{232}\text{Th}$ | $^{40}\text{K}$ | $^{137}\text{Cs}$ | Влажность, % |
|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| 0,0-0,07          | $10,2 \pm 1,6$    | $12,9 \pm 1,4$    | $424 \pm 42$    | $20,4 \pm 2,3$    | 25,8         |
| 0,07-0,15         | $15,5 \pm 2,7$    | $18,8 \pm 1,9$    | $392 \pm 38$    | $10,4 \pm 1,3$    | 25,1         |
| 0,15-0,30         | $18,9 \pm 2,8$    | $19,8 \pm 2,0$    | $468 \pm 47$    | $5,8 \pm 1,0$     | 21,3         |
| 0,30-0,60         | $27,5 \pm 5,0$    | $20,6 \pm 2,6$    | $421 \pm 41$    | $< 3,5$           | 17,8         |
| 0,60-0,90         | $26,2 \pm 4,3$    | $21,6 \pm 2,9$    | $446 \pm 45$    | $< 3,5$           | 12,9         |
| 0,90-1,20         | $24,1 \pm 3,7$    | $24,3 \pm 2,5$    | $457 \pm 43$    | $< 3,5$           | 9,2          |
| 1,45-1,60         | $22,8 \pm 2,8$    | $21,5 \pm 2,1$    | $442,8 \pm 44$  | $< 3,5$           | 8,4          |
| 1,60-1,75         | $15,0 \pm 2,5$    | $26,6 \pm 2,6$    | $479 \pm 48$    | $6,3 \pm 1,0$     | 31,6         |

Изучение содержания радионуклида в аллювиальных отложениях до глубины 2,0 м позволило установить, что, несмотря на хорошую водопроницаемость пород, даже на участках со слабо развитым почвенным покровом с низким содержанием гумуса, его активность на глубине свыше 30 см практически всегда находится ниже пределов обнаружения<sup>1</sup>. Значительная часть толщи отложений представлена песками рыхлыми и связными, с содержанием физической глины менее 7%, при этом доля илистой фракции составляет менее 2%. Известно, что содержание в рыхлых породах

<sup>1</sup> Предел обнаружения 3,5 Бк/кг

илистой фракции (минералов монтмориллонитовой группы, слюд и гидрослюд) – одна из основных причин закрепления  $^{137}\text{Cs}$ , где его ионы прочно фиксируются, изоморфно замещая калий в кристаллических решетках. В песчаных отложениях с минимальным содержанием илистой фракции указанное явление нивелируется.

Поскольку основная часть толщи отложений характеризуется легким гранулометрическим составом и низкой емкостью поглощения (2...3 мг-экв/100 г), можно предположить, что имеет место вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$  вниз по профилю, когда он практически минует слои с легким гранулометрическим составом и накапливается в нижележащих породах (либо выносится за пределы профиля). Действительно, в интервале глубины 160-175 см содержание  $^{137}\text{Cs}$  достигает 6,3 Бк/кг. Отложения здесь слабо ожелезнены, представлены супесью.

Однако выше рассматриваемого слоя, на глубине 69-84 см присутствует серия погребенных органогенных горизонтов супесчаного и легкосуглинистого состава с содержанием физической глины до 21%. Отложения подобного состава способны выполнять роль геохимического барьера, однако повышенных концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в них проведенными исследованиями не установлено.

Это обстоятельство может объясняться тем, что поступление  $^{137}\text{Cs}$  связано, с русловыми водами р. Енисей, которые инфильтруются через хорошо проницаемые породы песчаного и гравийно-песчаного состава. В пределах границы колебания уровня грунтовых вод, на окислительно-восстановительном барьере происходит осаждение соединений железа, которые выступают эффективными аккумуляторами  $^{137}\text{Cs}$  [4,5].

По всей видимости, интенсификации водообмена в подошве отложений острова способствует «депресссионная воронка», формирование которой обусловлено деятельностью водозабора о. Татышев.

Сопоставление результатов содержания  $^{137}\text{Cs}$  в отложениях низкой и высокой поймы, позволяет оценить величину его гидрогенного поступления с водами р. Енисей. Поскольку элементы высокой поймы после строительства Красноярской ГЭС крайне редко подвергаются затоплению (отдельные участки не затапливались никогда с 1966 года), содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и грунтах высокой поймы следует рассматривать как величину, обусловленную его атмосферным поступлением (глобальным выпадением).

Средняя величина удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и грунтах высокой поймы (7,6 Бк/кг), полученная в результате выполненных исследований, сопоставима с величиной регионального фона (7...9 Бк/кг) для территории центральных районов Красноярского края [2] и может свидетельствовать о поступлении его за счет глобальных выпадений.

В свою очередь, накопление  $^{137}\text{Cs}$  в пределах почв и грунтов низкой поймы до 23,7 Бк/кг, происходит преимущественно в результате гидрогенного поступления и последующего осаждения глинистыми минералами. Полученные результаты хорошо согласуются с данными других работ [8,9] по исследованию накоплений техногенных радионуклидов в поймах рек.

Таким образом, разница между концентрацией  $^{137}\text{Cs}$  в почвах низкой и высокой поймы, составляющая 16,1 Бк/кг, может объясняться гидрогенным вкладом реки и процессами аккумуляции его на низких геоморфологических формах пойменного рельефа в результате предшествующего смыва с поверхности водосборного бассейна [10,11].

Участки почво-грунтов с повышенным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  отчетливо фиксируются значениями мощности дозы гамма-излучения до 0,13...0,15 мкЗв/ч на фоне 0,08 мкЗв/ч.

Концентрация порового радона в почвенном воздухе на исследуемой территории характеризуется средней величиной 5,1 кБк/м<sup>3</sup> и лишь в отдельных случаях может достигать значений 10,0...10,3 кБк/м<sup>3</sup>, что, по-видимому, обусловлено процессами

вытеснения почвенных газов из порового пространства грунта при повышении уровня грунтовых вод вследствие колебаний уровня реки в целом. Сопоставление результатов измерений, полученных в весенний, летний и осенний периоды показало, что максимальные значения указанного параметра характерны для периода весеннего паводка.

Почвы и грунты в пределах острова до глубины 2,9 м характеризуются близкими значениями удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  не превышающими величины 27,5 Бк/кг.

В результате проведенных исследований:

- показана преобладающая роль почв низкой поймы в аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  в естественных условиях;
- оценен гидрогенный вклад р. Енисей в поступление  $^{137}\text{Cs}$ , который на период исследований составил 16,1 Бк/кг;
- сделан вывод о том, что внутрипочвенная дифференциация, связанной с изменением гранулометрического состава и аккумуляцией гумуса в виде погребенных горизонтов, увеличивает функции этих почв как комплексных геохимических барьеров.

### Литература

1. Турыгина О.В. Реконструкция пойменных экосистем среднего течения реки Енисей в голоцене: научное издание / О.В. Турыгина, Г.А. Демиденко; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО Красноярский гос. аграрный ун-т. - Красноярск: КГПУ им. В.П. Астафьева, 2010. - 154 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2009 год» - Красноярск 2010. – 237 с.
3. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / Под. ред. И.А. Соболева, Е.Н. Беляева. - М.: Медицина, 2002. – 432 с.
4. Легин Е.К. Влияние биогенного восстановления железа в почвах на миграционное поведение радионуклидов и тяжелых металлов/ Е.К. Легин, Ю.И. Трифонов, М.Л. Хохлов и др. Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина, т. XII, 2007 - С.148-168.
5. Гриневич С.В. Поведение тяжелых металлов и радионуклидов в почве и растениях на пойменных лугах пригорода г. Гомеля / Гриневич С.В., Клементьева Е.А. // Сахаровские чтения 2010 года: экологические проблемы XXI века.- Минск.-2010.- С.23
6. Aarkrog A., Dahlgaard H., Frissel M et al. Sources of anthropogenic radionuclides in the Southern Urals // J. Environ. Radioactivity. 1992. V.15. P.69-80.
7. Радиационно-гигиенический паспорт Красноярского края за 2010 год. Красноярск, 2011.
8. Петрова Т.Б., Микляев П.С., Власов В.К., Семенюк О.В. Техногенная миграция цезия-137 в городских экосистемах. Материалы международной конф. «Город и геологические опасности». СПб.: 2006, С.159-163.
9. Носов А.В., Ашанин М.В., Иванов А.Б., Мартынова А.М. Радиоактивное загрязнение реки Енисей, обусловленное сбросами Красноярского ГХК. – Атомная энергия, 1993, т. 74, вып. 2, С. 144–150.
10. Кузнецов Ю.В. К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря / Ю.В. Кузнецова, Ю.А. Ревенко, В.К. Легин и др. – Радиохимия, 1994, т. 36, вып. 6, С.546–558.
11. Овсянникова С.В. Почвенные растворы в процессах миграции  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  / С.В. Овсянникова, Г.А. Соколик, Е.А. Эйсмонт // Геохимия. – 2001. – № 2. – С.222–234.